

徐建霞,王建柱,李 磊,等. 边坡先锋植物新银合欢幼苗抗旱能力研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):134-138.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.033

边坡先锋植物新银合欢幼苗抗旱能力研究

徐建霞¹,王建柱^{1,2},李 磊¹,徐 萌³

(1. 三峡大学生物与制药学院,湖北宜昌 443002; 2. 三峡库区生态环境教育部工程研究中心,湖北宜昌 443002;
3. 贵州省毕节市环境监测中心站,贵州毕节 551700)

摘要:新银合欢是水利水电工程边坡修复中最常用的物种之一。以新银合欢幼苗为试验材料,进行盆栽控水自然干旱胁迫(停止浇水)50 d 及复水 10 d 处理,研究干旱胁迫对其生理生化特性的影响。结果表明,随着干旱胁迫处理时间的延长,幼苗受害指数增大,叶绿素含量随干旱程度的增加而呈减小的趋势;电导率、可溶性糖含量、游离脯氨酸含量、丙二醛(MDA)含量均有不同程度的升高;SOD、POD、CAT 3 种酶活性的变化趋势大致相同,整体呈现出先上升而后下降的趋势,相关性研究表明,三者之间呈极显著正相关($P<0.01$);在干旱胁迫 50 d 后正常复水 10 d,幼苗各项生理生化指标又急剧下降接近对照水平,解除干旱胁迫带来的伤害。该研究结果对于新银合欢的引种或栽培具有重要的指导意义,可为幼苗的前期管理提供科学依据。

关键词:新银合欢;边坡修复;干旱胁迫;生理生化特性;复水

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0134-05

水利水电工程在建设过程中由于开挖路堑、填筑路堤,不可避免地导致原生植被损毁,在公路两旁出现了大面积的裸露边坡^[1-2],直接或间接引发诸多的生态环境问题,例如水土流失、边坡大面积滑坡以及环境污染等。植被是库区河岸带和边坡的重要组成部分,具有防止水土流失、绿化和美化河岸景观、减少水体污染等多种功能^[3]。但水电工程形成的边坡环境往往比较恶劣,如长期处于干旱状态、土壤贫瘠甚至缺失等,使得大部分植物因难以适应这种生境而无法正常生长,最终导致死亡。干旱胁迫是仅次于病虫害对动植物造成损失的第二大危害。干旱是影响植物和农作物生长和发育的重要逆境因子^[4-5],是导致植物体内缺水而引起植物的形态特征、生理生化过程、酶等发生变化的重要因素^[6]。因此,研究边坡生态修复植被的生态适应性,筛选出既抗旱又适于复杂多变条件下裸露边坡生长的最佳适生树种尤为重要。

新银合欢(*Leucaena leucocephala*)属萨尔瓦多型,别称萨尔瓦多银合欢,为豆科(Leguminosae)银合欢属(*Leucaena*)适生性强的多年生常绿乔木,主根发达,有根瘤菌,可以固氮和提高土壤肥力,是理想的水土保持作物和木本绿肥植物,近年来在金沙江地区作为生态恢复初期的先锋树种取得了较为理想的效果^[7-8]。目前银合欢的研究主要集中在营养成分及饲用^[9]、根系生长情况^[10]以及对土壤理化性质的改变^[11]等方面,而对银合欢苗木抗旱性的研究鲜有报道。本试验采用盆栽方法对新银合欢耐旱潜力进行研究,了解其抗旱机理、干旱适应特点,利用其特征与效率等方面的机制,为边坡恢复引种

及栽培提供指导,以及为幼苗的前期管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

将新银合欢小幼苗于 2015 年 4 月移栽于内径 25 cm、高 30 cm 的塑料花盆中,供试土壤为三峡大坝香溪河边坡所采集土壤,基本理化性质:全氮含量 1.041 g/kg,有机质含量 14.82 g/kg,全磷含量 0.896 g/kg, pH 值 7.3(水土比为 1:2.5)。依据全国第二次土壤普查对土壤营养水平的划分标准(表 1),供试土壤有机质含量处于中等偏低水平(级别 4),氮含量处于中等水平(级别 3),磷含量处于中等偏高水平(级别 2)。供试土壤经过充分混合,随机分装于花盆中。所有花盆均放在同一个温棚隔间。待幼苗长至 16 cm 左右时,开始试验。采用自然干旱胁迫的方法,对待测苗木进行控水处理,在试验当天给新银合欢幼苗浇足水分(水分为田间持水量的 75%~85%),为干旱 0 d(对照);之后用自然干旱胁迫的方法在停止浇水后 10、20、30、40、50 d 及复水后 10 d(相对应的土壤含水量见表 2)对处理幼苗进行各项生理生化指标的测定。每组试验重复 9 株。

表 1 土壤养分分级标准

级别	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)
1	>40.0	>2.00	>1.0
2	30.0~40.0	1.50~2.00	0.8~1.0
3	20.0~<30.0	1.00~<1.50	0.6~<0.8
4	10.0~<20.0	0.75~<1.00	0.4~<0.6
5	6.0~<10.0	0.50~<0.75	0.2~<0.4
6	<6.0	<0.50	<0.2

1.2 试验指标的测定及方法

1.2.1 幼苗生长和生物量的测定 用米尺对植株幼苗高度等指标进行测量,并观察记录植株叶片生长状况、分枝等形态

收稿日期:2016-05-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:51179094);国家科技支撑计划(编号:2012BAC06B02-04)。

作者简介:徐建霞(1988—),男,贵州毕节人,硕士,主要从事恢复生态和生态工程方面的研究。E-mail:529438648@qq.com。

通信作者:王建柱,副教授,硕士生导师,主要从事恢复生态和生态工程方面的研究。E-mail:wangjianzhu@126.com。

表 2 不同处理天数土壤含水量

处理	含水量 (%)
干旱 0 d	30.47 ± 1.72a
干旱 10 d	24.27 ± 1.53b
干旱 20 d	17.23 ± 2.35c
干旱 30 d	13.47 ± 1.63d
干旱 40 d	7.47 ± 0.69e
干旱 50 d	4.27 ± 0.51f
复水 10 d	23.68 ± 2.15b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 3、表 4 同。

生长特征。生物量的测定:将各植株和土壤分开,把根、茎、叶上的土壤洗净、晾干,按根、茎、叶 3 部分存放。根、茎剪切成小块后与叶各自分开放于烘干箱中先于 105 ℃ 下杀青处理 15 min,后置于 65 ℃ 烘箱 24 h 烘干至恒质量,取出在电子天平(精确度为 0.000 1 g)上测干质量。

1.2.2 苗木生化指标 参照李合生的方法测定新银合欢幼苗抗旱性相关指标^[12],电导率的测定采用电解质渗量法;叶绿素含量测定采用丙酮浸提法;可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法;游离氨基酸含量测定采用茚三酮溶液显色法;SOD 总活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法测定;POD 总活性的测定采用愈创木酚法;CAT 总活性的测定采用紫外吸收法。

1.3 数据统计处理

利用 Excel 2007 进行各测定指标的计算以及数据整理,利用 SPSS 19.0 统计分析软件采用单因素方差分析(one way ANOVA 方法)进行显著性检验及多重比较,对不同干旱条件下新银合欢幼苗生理生化指标数据进行显著性分析,设定显著性水平 $\alpha = 0.05$;采用 Origin 8.1 和 Excel 2007 绘图。

2 结果与分析

表 3 不同干旱强度条件下幼苗生物量及比例

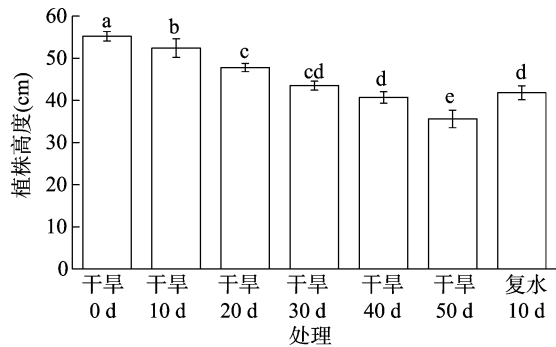
处理	总生物量 (g)	根生物量 (g)	根占比重 (%)	茎+枝生物量 (g)	茎+枝占比重 (%)	叶生物量 (%)	叶占比重 (%)
干旱 0 d	5.22 ± 0.35a	1.56 ± 0.02d	29.89 ± 1.11d	2.09 ± 0.05a	40.04 ± 3.09a	1.57 ± 0.03a	30.08 ± 2.09a
干旱 10 d	5.15 ± 0.24ab	1.59 ± 0.07d	30.87 ± 1.85d	2.01 ± 0.03a	39.03 ± 2.46a	1.55 ± 0.09a	30.10 ± 4.12a
干旱 20 d	4.95 ± 0.76b	1.62 ± 0.07c	32.73 ± 2.07cd	1.88 ± 0.08b	37.98 ± 4.31b	1.45 ± 0.06b	29.29 ± 3.21ab
干旱 30 d	4.83 ± 0.12c	1.68 ± 0.05bc	34.78 ± 3.12c	1.82 ± 0.07b	37.68 ± 3.72b	1.33 ± 0.03c	27.54 ± 1.65b
干旱 40 d	4.64 ± 0.43d	1.75 ± 0.04b	37.72 ± 1.98b	1.63 ± 0.06c	35.13 ± 1.68c	1.26 ± 0.01d	27.16 ± 1.87c
干旱 50 d	4.37 ± 0.17f	1.87 ± 0.03a	42.79 ± 2.34a	1.46 ± 0.03d	33.41 ± 2.78cd	1.04 ± 0.02e	23.80 ± 2.09d
复水 10 d	4.45 ± 0.32e	1.84 ± 0.04a	41.35 ± 2.17a	1.41 ± 0.04d	31.69 ± 1.94d	1.21 ± 0.04d	26.97 ± 1.73cd

2.3 干旱胁迫对幼苗叶绿素含量的影响

叶绿体是植物光合作用过程中吸收光能的器官,其中叶绿素是叶绿体中的主要色素,直接参与光合作用中光能的吸收、传递、分配和转化等过程,也是叶片功能持续时间长短的重要标志^[13-14]。有研究表明,植物在受到干旱胁迫时,叶绿素分解导致叶绿素含量相应降低及叶绿素 a/叶绿素 b 比值降低^[15];因此,可以用叶绿素 a/叶绿素 b 比值下降的程度来评定植株的抗旱性。随着干旱胁迫的加剧,叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量、叶绿素 a/叶绿素 b 均呈逐渐减小的趋势。干旱 30、40、50 d 叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量均与干旱 0、10、20 d、复水后 10 d 差异显著

2.1 干旱胁迫对新银合欢幼苗株高的影响

苗高是最直观、最容易测定的形态指标。在苗木生长期间,适宜的水分是保证苗木正常生长的重要条件,土壤水分和养分过高或过低都会影响苗木的正常生长。由图 2 可知,在同一生长期间内,干旱处理的新银合欢幼苗株高均低于对照(干旱处理 0 d),并随着干旱天数的增加而呈明显的下降趋势,且差异显著 ($P < 0.05$)。但复水后 10 d 新银合欢幼苗高度有所增加,与干旱 50 d 处理差异显著 ($P < 0.05$)。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 不同干旱强度条件下植株高度

2.2 干旱胁迫对幼苗生物量的影响

随着干旱胁迫天数的增加,幼苗的总生物量呈递减的趋势。干旱 0 d 条件下总生物量最高(5.22 g),显著高于除干旱 10 d 处理外其他处理 ($P < 0.05$);干旱 50 d 最低(4.37 g),显著低于其他处理天数总生物量 ($P < 0.05$);复水 10 d 后生物量有所增加,为 4.45 g。根生物量随干旱天数的增加而呈增加的趋势,干旱 50 d 根生物量最高(1.87 g),所占比例也最大(42.79%);而茎+枝的生物量则与根的生物量变化趋势相反,呈逐渐下降的趋势;叶生物量及比例都随干旱天数的增加呈减小的趋势(表 3)。

($P < 0.05$),干旱 10 d 跟复水后 10 d 的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量、叶绿素 a/叶绿素 b 差异都不显著 ($P > 0.05$)(表 4),说明在一定干旱条件下正常复水有利于增加叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量以及叶绿素 a/叶绿素 b 的比值,使新银合欢幼苗叶绿素恢复到较好的健康状态进行光合作用,减小其苗木的受害程度。

2.4 干旱胁迫对幼苗电导率、可溶性糖、游离脯氨酸含量的影响

植株电导率高是判断树木营养状况好坏的一项重要指标,也是反映植株抗逆性强弱的指标之一^[16]。本试验结果表明,在正常浇水条件下(干旱处理 0 d),新银合欢幼苗电导率

表 4 不同干旱强度条件下叶绿素含量

处理	叶绿素 a 含量(mg/g)	叶绿素 b 含量(mg/g)	叶绿素总含量(mg/g)	叶绿素 a/叶绿素 b
干旱 0 d	3.02 ± 0.06a	0.77 ± 0.01a	3.79 ± 0.25a	3.92 ± 0.16a
干旱 10 d	2.96 ± 0.11a	0.76 ± 0.03a	3.72 ± 0.12a	3.89 ± 0.13a
干旱 20 d	2.89 ± 0.13a	0.74 ± 0.06a	3.63 ± 0.21b	3.90 ± 0.42a
干旱 30 d	2.51 ± 0.09b	0.65 ± 0.06b	3.16 ± 0.19c	3.86 ± 0.31a
干旱 40 d	2.47 ± 0.15b	0.67 ± 0.04b	3.14 ± 0.17c	3.68 ± 0.26ab
干旱 50 d	2.11 ± 0.07c	0.61 ± 0.07c	2.72 ± 0.25d	3.45 ± 0.21b
复水 10 d	2.86 ± 0.09a	0.73 ± 0.03a	3.50 ± 0.14ab	3.91 ± 0.18a

维持在 0.090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右,但随着干旱天数的增加,电导率呈先增加后减小又增加的趋势。在干旱 50 d 时,植株电导率最高,为 0.227 $\mu\text{S}/\text{cm}$,是干旱 0 d 条件下近 2.5 倍,与其他干

旱组差异显著($P < 0.05$)。幼苗复水后 10 d 电导率比干旱 10 d 处理时的电导率要低。说明新银合欢在干旱 50 d(土壤含水量为 4.3%)后及时补水能缓解干旱对其造成的伤害(表 5)。

表 5 不同干旱胁迫强度下幼苗电导率、可溶性糖、游离脯氨酸含量

处理	电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)		可溶性糖含量(mg/g)		游离脯氨酸含量($\mu\text{g}/\text{g}$)	
	对照	干旱	对照	干旱	对照	干旱
干旱 0 d	0.089 ± 0.021eA	0.090 ± 0.009eA	206.51 ± 3.67fA	206.50 ± 6.78fA	158.07 ± 12.57eA	158.07 ± 21.09eA
干旱 10 d	0.086 ± 0.015eB	0.166 ± 0.023cdA	210.82 ± 2.83fA	220.83 ± 7.43eA	157.33 ± 10.94eA	197.54 ± 25.45eA
干旱 20 d	0.085 ± 0.012eB	0.205 ± 0.016bA	207.34 ± 5.98fB	247.31 ± 3.76cA	160.77 ± 8.95eB	510.68 ± 33.84dA
干旱 30 d	0.082 ± 0.009eB	0.183 ± 0.042cA	213.46 ± 7.12fB	273.46 ± 5.53bA	172.23 ± 7.63eB	1 209.45 ± 73.67bA
干旱 40 d	0.907 ± 0.014eB	0.202 ± 0.015bA	211.42 ± 6.93fB	287.39 ± 10.21aA	174.81 ± 15.44eB	1 674.88 ± 74.49aA
干旱 50 d	0.089 ± 0.011eB	0.227 ± 0.010aA	209.98 ± 8.45fB	286.76 ± 9.76aA	179.34 ± 9.32eB	1 567.34 ± 50.11aA
复水 10 d	0.095 ± 0.08eB	0.145 ± 0.031dA	205.64 ± 4.47fB	235.45 ± 3.55dA	169.91 ± 7.75eB	722.21 ± 62.98cA

注:小写字母不同代表不同干旱强度组之间差异显著($P < 0.05$),大写字母不同代表干旱组与对照组之间差异显著($P < 0.05$)。

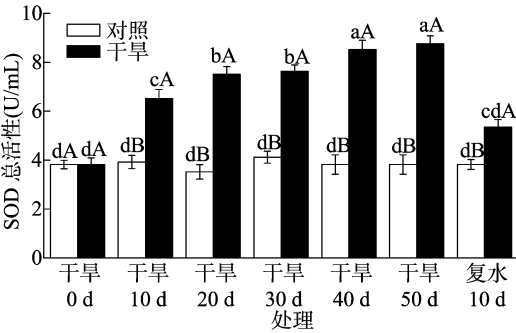
随着干旱天数的增加,土壤含水量降低,植株可溶性糖含量呈增加的趋势,在干旱 40 d 时含量最高,为 287.39 mg/g,干旱 0 d 时含量最低,为 206.50 mg/g。干旱胁迫植株体内可溶性糖含量总是显著高于正常浇水组(干旱 0 d)的可溶性糖含量($P < 0.05$)。在干旱组中,干旱 50 d 和干旱 40 d 可溶性糖含量差异不显著($P > 0.05$),但与其他处理组之间差异显著($P < 0.05$)。复水后 10 d 新银合欢苗木可溶性糖的含量值为 235.45 mg/g,大于干旱 10 d 而小于干旱 20 d 的值(表 5)。出现这样的结果是因为植物在干旱条件下获得水分,使植物体内渗透调节物质可溶性糖含量减小,可以增加植物体内的渗透势,利于水分的吸收,促进植物的正常生长。

游离脯氨酸是一种调节渗透的物质,许多植物能通过渗透调节物质来维持细胞一定的含水量和膨压,从而维持细胞的正常生理功能,特别是在植物处于逆境时,体内游离脯氨酸会大量积累^[17]。本研究,干旱胁迫植株体内游离脯氨酸含量总体显著高于正常浇水(干旱 0 d)也证实了上述结论(表 5)。随干旱天数的增加,新银合欢幼苗体内的游离脯氨酸含量呈先增加后减小的趋势。复水后 10 d 苗木游离脯氨酸含量下降,且与干旱 50 d 显著差异($P < 0.05$)。说明干旱后复水,新银合欢幼苗通过根系从土壤中吸收到水分,而幼苗为了调节自身体内的渗透平衡,只能通过降低自身的渗透物质含量如游离脯氨酸含量等来维持细胞的内稳态,从而维持细胞的正常生理功能。

2.5 干旱胁迫对幼苗抗氧化酶活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是需氧生物中普遍存在的一种含金属酶,其活性与植物抗性密切相关,较高的 SOD 活性是植物抵抗逆境胁迫的生理基础。当植株遭受干旱胁迫时,其体内 SOD 活性呈上升趋势^[18]。新银合欢幼苗 SOD 总活性如

图 2 所示,随干旱天数的增加,新银合欢幼苗 SOD 总活性呈先增大后减小的趋势。复水后 10 d SOD 总活性与干旱 0 d 差异不显著($P > 0.05$),与其余干旱组之间差异显著($P < 0.05$)。研究结果说明复水降低了苗木 SOD 的总活性,植株幼苗的受害程度在减弱。



不同小写字母表示不同干旱强度组之间差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示干旱组与对照组之间差异显著($P < 0.05$)。下图同

图 2 不同干旱强度条件下植株 SOD 总活性

在干旱胁迫条件下,植物一般通过增强体内 POD 活性来分解或清除其体内的超氧阴离子自由基及 H_2O_2 ,起到防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统伤害的作用,从而避免植物遭受伤害,是植物体内与 SOD 酶相似的另一种保护性酶^[19]。干旱胁迫条件下新银合欢幼苗 POD 总活性变化趋势与 SOD 总活性变化趋势相似,总体呈先增加后减小的趋势。复水后苗木体内 POD 总活性下降,但与干旱 50 d 时的活性差异不显著($P > 0.05$)(图 3)。

过氧化氢酶(CAT)是植物体内重要的抗氧化保护酶,属于血红蛋白酶,含有铁,它能催化过氧化氢分解为水和分子

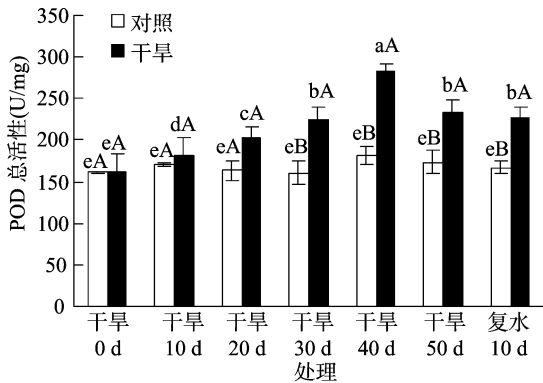


图3 不同干旱强度条件下植株 POD 总活性

氧。在干旱胁迫条件下,水分的缺失可诱导增强植物叶片内 CAT 的活性,加速对 H₂O₂ 的分解,进而避免羟基自由基的生成,在一定程度上阻止或减少了羟基自由基形成,对植物细胞的膜质过氧化及对脂质过氧化引起的 DNA 损伤有一定程度的保护作用^[20]。由图 4 可知,干旱胁迫条件下新银合欢幼苗 CAT 活性随干旱天数的增加,呈先增大后减小的趋势。在干旱 40 d 时 CAT 活性达到最高,在干旱 0 d 时活性最低,且两者差异显著 ($P < 0.05$)。复水后 10 d 苗木 CAT 活性有所降低,且与干旱 40、50 d 差异显著 ($P < 0.05$)。

2.6 干旱胁迫对幼苗 MDA 含量的影响

丙二醛 (MDA) 是植物细胞膜脂质过氧化作用的产物,当植株处于干旱胁迫条件下时,植株体内 MDA 含量就会增加,MDA 含量的积累能破坏细胞膜的结构和功能,引起细胞膜功能紊乱,其含量的高低可以反映植株生理代谢活动的强弱和植株遭受伤害的程度^[4]。本研究中,干旱处理条件下幼苗 MDA 含量均高于对照组,且差异性都显著 ($P < 0.05$);复水 10 d 后苗木 MDA 含量与对照组差异显著 ($P < 0.05$),相比干旱 10、20、30、40、50 d 处理显著降低,说明水分对 MDA 含量的影响比较明显 (图 5)。在干旱胁迫 50 d 后复水 10 d,新银合欢体内 MDA 含量急剧下降,说明干旱 50 d 后复水仍有利于降低新银合欢苗木丙二醛含量,提高植物生理活性,减小植

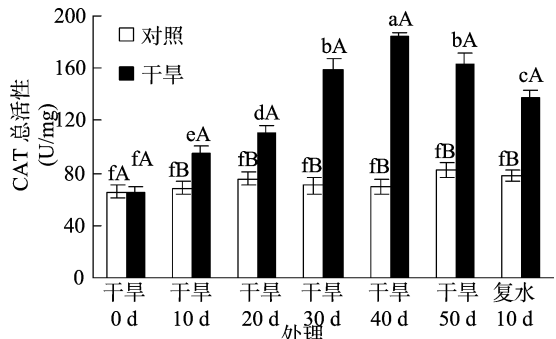


图4 不同干旱强度条件下植株 CAT 总活性

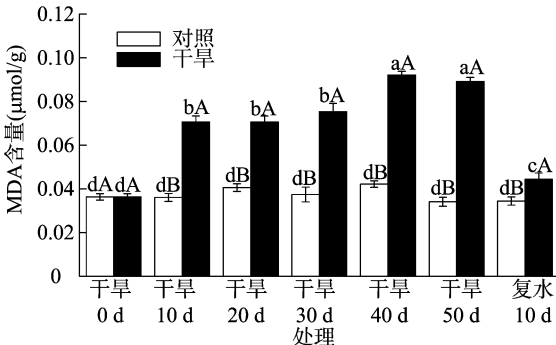


图5 不同干旱强度条件下植株 MDA 含量

株遭受伤害的程度。

2.7 不同干旱天数条件下幼苗各指标之间的相关性分析

新银合欢幼苗在不同干旱天数条件下各指标相关性分析结果 (表 6) 表明,总叶绿素含量除与叶绿素 a/叶绿素 b 呈极显著正相关外,与其他指标均呈极显著负相关 ($P < 0.01$),且与游离脯氨酸相关程度最高 ($r = -0.902$);电导率与总叶绿素含量呈极显著负相关,与叶绿素 a/叶绿素 b 呈显著负相关 ($P < 0.05$);叶绿素 a/叶绿素 b 除与电导率和丙二醛含量显著相关外 ($P < 0.05$),与其他指标均相关性不显著 ($P > 0.05$);SOD、POD、CAT 3 种活性酶呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。

表 6 不同干旱强度条件下幼苗各指标之间的相关性

指标	叶绿素总含量	叶绿素 a/叶绿素 b	电导率	可溶性糖含量	游离脯氨酸含量	SOD 活性	POD 活性	CAT 活性
叶绿素总含量	1							
叶绿素 a/叶绿素 b	0.639 **	1						
电导率	-0.800 **	-0.369 *	1					
可溶性糖含量	-0.705 **	-0.026	0.768 **	1				
游离脯氨酸含量	-0.902 **	-0.303	0.782 **	0.830 **	1			
SOD 活性	-0.671 **	-0.278	0.764 **	0.744 **	0.600 **	1		
POD 活性	-0.657 **	-0.076	0.763 **	0.807 **	0.837 **	0.479 **	1	
CAT 活性	-0.824 **	-0.231	0.767 **	0.893 **	0.937 **	0.642 **	0.877 **	1
MDA 含量	-0.748 **	-0.308 *	0.668 **	0.742 **	0.710 **	0.897 **	0.506 **	0.709 **

注:“*”表示显著相关 ($P < 0.05$);“**”表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

3 讨论与结论

试验研究结果表明,不同程度的干旱胁迫显著抑制了新银合欢幼苗的生长,并对其生物量、叶绿素含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量等生理生化指标产生了重大影响。有研究表明,干旱胁迫会

导致植物体内叶绿素含量降低,但抗旱性差的降低幅度较大。本研究得出,随着干旱胁迫的加剧,叶绿素含量呈降低的趋势,但降低幅度并不显著,这与张成军在干旱胁迫下对 4 种木本植物幼苗研究得出的结果^[21]和阎勇等对玉米研究的结果^[22]相似,表明了干旱胁迫并没有抑制新银合欢幼苗的光合潜力。随着干旱天数的增加,土壤含水量的降低,可溶性糖含

量和脯氨酸含量大幅度提高,当干旱达到 40 d 时,脯氨酸积累量达到最大(1 757. 5 $\mu\text{g/g}$),接近干旱 0 d 的 10 倍;可溶性糖也达到最大值。脯氨酸含量和可溶性糖含量急剧增加,是对干旱胁迫的一种适应,这与李渡等对苜蓿^[23]和宋淑明对紫花苜蓿的研究结果^[24]一致。在经过复水 10 d 后,新银合欢幼苗叶片的可溶性糖含量和脯氨酸含量都急剧下降,虽跟干旱 0 d 差异显著,但已经逐渐在缓解干旱带来的危害。

本研究得出,随干旱程度的加剧,SOD、POD、CAT 3 种酶活性的变化趋势大致相同,相关性研究表明,三者之间存在着极显著正相关性。这与杨青川等对紫花苜蓿、扁蓿豆的研究结果^[25]一致。原因是植物器官在逆境情况下会发生膜脂过氧化作用,从而积累膜脂过氧化物的最终分解产物丙二醛(MDA)^[26]和游离脯氨酸^[27],体内活性氧代谢加强会导致活性氧或其他过氧化物自由基的积累从而伤害细胞膜。在干旱胁迫条件下,植物一般通过增强 SOD 活性和 POD 活性来清除体内的超氧阴离子自由基,而增强 CAT 活性分解 H_2O_2 为 H_2O 和 O_2 ;SOD、POD、CAT 3 种酶协同作用,维持植物体内活性氧的代谢平衡,从而起到保护生物体不受较大伤害的作用,最终增强植物对逆境的抗性^[28]。

有研究表明,抗旱性越弱的植物,其体内 MDA 含量变化幅度越大^[29]。随着干旱胁迫的加剧,新银合欢幼苗 MDA 增加幅度后期都比较小,表明新银合欢在一定干旱情况下膜脂过氧化程度变动不大,复水 10 d 后,MDA 含量急剧下降,已基本恢复到了对照组水平,与之差异不显著。说明植物体内氧化性损伤的同时修复机制也在同步进行,在新银合欢重度干旱胁迫之后(土壤含水量为 4.3%)重新灌溉能够降低膜脂过氧化作用,使植物缓解干旱胁迫带来的伤害^[30]。

通过对新银合欢幼苗各项生理生化指标的分析得出,其幼苗具有较强的抗旱能力,在干旱胁迫条件下,各项生化指标反应良好,表现出较强的干旱适应特性;在严重干旱后复水,各项指标又逐渐恢复接近对照水平。但影响植物生长的因素很多也很复杂,除植物自身生理特性外,同时还受多种外界环境因子的影响。本试验是在盆栽环境中进行的,与实际生境有一定差异。因此,对新银合欢抗旱性进行全面评价时,应当结合实际生境,从生态、生理 2 个方面考虑,为新银合欢能在干旱少雨的地区合理栽培与管理提供准确详细的依据。

参考文献:

- [1]刘毅.对高速公路边坡生态恢复的探讨[J].中国水土保持,2009(9):23-24.
- [2]邓辅唐.高速公路边坡生态恢复研究进展[J].中国水土保持,2005(7):48-50.
- [3]胡波,张平仓,任红玉,等.三峡库区消落带植被生态学特征分析[J].长江科学院院报,2010,27(11):81-85.
- [4]汤章城.植物对水分胁迫的反应和适应性——I.抗逆性的一般概念和植物的抗涝性[J].植物生理学通讯,1983(3):24-29.
- [5]孙宪芝,郑成淑,王秀峰.木本植物抗旱机理研究进展[J].西北植物学报,2007,27(3):629-634.
- [6]姚觉,于晓英,邱收,等.植物抗旱机理研究进展[J].华北农学报,2007,22(增刊1):51-56.
- [7]方海东,纪中华,杨艳鲜,等.金沙江干热河谷新银合欢人工林物

- 种多样性研究[J].水土保持研究,2005,12(1):135-137.
- [8]林彬远,刘勇,李卫东,等.金沙江干热河谷新银合欢低效林分更新复壮初步研究[J].四川林业科技,2014,35(6):88-90.
- [9]余雪梅.新银合欢营养成分分析及饲用研究[J].四川畜牧兽医,2012,39(11):30-31.
- [10]陈东,王道杰,郭灵辉,等.水分胁迫及土壤质地对新银合欢幼苗根系生长的影响[J].中国水土保持,2012(6):34-37,76.
- [11]郭甜,何丙辉,蒋先军,等.新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用[J].生态学报,2012,32(1):190-197.
- [12]李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:11
- [13]卢从明.水分胁迫对光合作用影响的研究进展[J].植物学报,1994,11(增刊1):9-14.
- [14]吴林.淹水干旱条件下北空越桔生理反应的研究[J].果树学报,1998,15(2):137-140.
- [15]张明生,谈锋.水分胁迫下甘薯叶绿素 a/b 比值的变化及其与抗旱性的关系[J].种子,2001(4):23-25.
- [16]赵燕燕.鸢尾属几种植物的抗旱性研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [17]丁玉梅,马龙海,周晓罡,等.干旱胁迫下马铃薯叶片脯氨酸、丙二醛含量变化及与耐旱性的相关性分析[J].西南农业学报,2013,26(1):106-110.
- [18]李滨胜,周玉迁,潘杰,等.干旱胁迫下细叶景天生理生化指标的变化[J].北方园艺,2010(16):105-107.
- [19]Babiha M P,Bhat S G,Prakash H S,et al. Differential induction of superoxide dismutase in downy mildew-resistant and-susceptible genotypes of pearl millet[J]. Plant Pathology,2002,51(4):480-486.
- [20]王俊刚,陈国仓,张承烈.水分胁迫对 2 种生态型芦苇(*Phragmites communis*)的可溶性蛋白含量、SOD、POD、CAT 活性的影响[J].西北植物学报,2002,22(3):561-565.
- [21]张成军.辽东栎林中四种木本植物幼苗对土壤干旱的生理生态响应[D].哈尔滨:东北林业大学,2003.
- [22]阎勇,罗兴录,张兴思,等.不同供水条件下玉米耐旱生理特性比较[J].中国农学通报,2007,23(9):323-326.
- [23]李渡,贾秀峰,白庆武,等.干旱胁迫对苜蓿脯氨酸积累的影响[J].植物研究,2003,23(2):189-191.
- [24]宋淑明.甘肃省紫花苜蓿地方类型抗旱性的综合评判[J].草业学报,1998,7(2):74-80.
- [25]杨青川,耿华珠,郝建国.紫花苜蓿、扁蓿豆 POD 同工酶的测定[J].中国草地,1994(2):53-56.
- [26]赵黎芳,张金政,张启翔,等.水分胁迫下扶芳藤幼苗保护酶活性和渗透调节物质的变化[J].植物研究,2003,23(4):437-442.
- [27]申亚梅,童再康,蔡建国,等.植物抗旱机制的研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(20):5214-5215,5238.
- [28]刘宁,高玉葆,贾彩霞,等.渗透胁迫下多花黑麦草叶内过氧化物酶活性和脯氨酸含量以及质膜相对透性的变化[J].植物生理学通讯,2000,36(1):11-14.
- [29]何开跃,李晓储,黄利斌,等.干旱胁迫对木兰科 5 树种生理生化指标的影响[J].植物资源与环境学报,2004,13(4):20-23.
- [30]Sofa A,Dichio B,Xiloyannis C,et al. Lipoygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress[J]. Physiologia Plantarum,2004,121(1):58-65.